



MAGAZINE

GEOPOLÍTICA DO PETRÓLEO

DIVERGÊNCIAS IDEOLÓGICAS E
O ISOLAMENTO SOCIAL
IMPLICARAM EM INTENSAS
OSCILAÇÕES

Pág 05

SEXTA EDIÇÃO

ABR - SET 2020 | 6ª EDIÇÃO |

MONITORAMENTO
GEOFÍSICO DA
REMEDIÇÃO
POR SISTEMA
BIOELETROQUÍMICO

Pág 13



COMO O
CAPÍTULO
ESTUDANTIL VEM
ENFRENTANDO A
QUARENTENA?

Pág 11



RECOMENDAÇÕES
DE LEITURA

Pág 12



Student Chapter UERJ
Geophysical Society

SOBRE NÓS

"O Student Chapter da UERJ foi fundado em 2015 por alunos do curso de graduação em Geologia para fomentar uma área de pouco interesse pelos geólogos: Geofísica. Nosso papel é intermediar as relações entre entidades, empresas e os alunos para que juntos possamos crescer e nos qualificarmos, tanto profissionalmente quanto academicamente."

Organização do Student Chapter

Presidente - Luiz Felipe Rodrigues de Moraes
Vice-presidente - Lucas Guimarães P. Monteiro
Secretária - Ingrid Pereira Ribeiro de Araujo
Tesoureira - Fabiane Linhares Santana
Diretora de marketing - Rachel Rodrigues Lopes
Diretora de finanças - Isabelle Vasconcelos Alcantara
Diretora de mídias - Luísa Freitas Barreto Fernandes
Diretor de eventos - Luís Henrique Costa Cordeiro

Advisor - Paulo T. L. Menezes

Organização da Revista

Editor-chefe
Lucas Guimarães P. Monteiro

Edição
Ingrid Araujo

Design e revisão
Ingrid Araujo
Isabela Dantas de Albuquerque

Visite nosso site:

segchapteruerj.wixsite.com/geophysicalsociety

Conecte-se conosco por nossas redes sociais:



ÍNDICE

04 EDITORIAL

Por: Ingrid Araujo

05 GEOPOLÍTICA DO PETRÓLEO

Por: Ingrid Araújo

08 O VÍRUS, O PETRÓLEO E A GEOPOLÍTICA MUNDIAL

Por: José Luís Fiori
(Pesquisador INEEP)

11 COMO O CAPÍTULO ESTUDANTIL VEM ENFRENTANDO A QUARENTENA?

Por: Luis Felipe

12 RECOMENDAÇÕES DE LEITURAS

Por: Luis Felipe

13 MONITORAMENTO GEOFÍSICO DA REMEDIAÇÃO POR SISTEMA BIOELETROQUÍMICO DE SOLOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBONETOS (ARTIGO CIENTÍFICO)

Por: Deqiang Mao, Lu Lu, André Revil, Yi Zuo, John Hinton, and Zhiyong Jason Ren



Editorial

por Ingrid Araujo

Caro leitor,

O ano de 2020 está sendo extremamente desafiador para maioria das pessoas do planeta. A pandemia causada pelo coronavirus é possivelmente a mais grave da história recente da humanidade. O que antes era apenas uma epidemia localizada na China, rapidamente se espalhou pelo mundo tomando consequências globais. Com isolamento social sendo considerado principal prevenção contra a COVID-19, vimos uma redução abrupta no número de pessoas em circulação, decretos de Lockdown, home office virando rotina e viagens planejadas sendo forçadas a serem canceladas. Essas mudanças no comportamento locomotivo fizeram com que a demanda por combustíveis caísse drasticamente, o que também causou, por consequência, uma queda na demanda por derivados do petróleo.

Nessa edição trazemos o tema petróleo como principal assunto. Iniciamos com a matéria de capa "Geopolítica do Petróleo" onde dissertamos sobre como as decisões geopolíticas ligadas a pandemia do COVID-19 influenciou em grandes variações no preço do barril. Além da matéria de capa, trazemos um outro texto de José Luís Fiori onde o mesmo mostra sua visão e descreve a relação do petróleo com a COVID-19.

Este ano também não foi um dos mais fáceis para os universitários, a maioria das universidades interromperam seus anos letivos e milhares de alunos se viram sem aulas.

Mesmo com esse panorama acadêmico, o capítulo estudantil de Geofísica da UERJ conseguiu se manter ativo e organizou diversas atividades a fim de continuar levando conteúdo profissional e acadêmico aos estudantes. Através do texto "Como o capítulo estudantil vem enfrentando a quarentena", escrito pelo presidente do nosso capítulo estudantil, conseguimos visualizar um pouco dessas atividades realizadas.

Olhando pelo lado positivo, a quarentena, por mais desafiadora que seja, trouxe aspectos positivos também. Com mais tempo em casa temos um período maior para se dedicar a leitura e outros hobbies, pensando nisso nosso presidente Luiz Felipe separou uma indicação de leitura científica super instigante sobre aplicação de Geofísica na ciência forense. E para terminar essa edição, trazemos um artigo científico de título: "Monitoramento geofísico da remediação por sistema bioeletroquímico de solos contaminados por hidrocarbonetos" onde um experimento extremamente interessante é feito utilizando sandbox.

Esperamos que seja uma leitura agradável e que por mais que estejamos longes fisicamente, através do compartilhamento de conteúdo e debates científicos possamos nos manter conectados. O capítulo estudantil de Geofísica da UERJ demonstra todo seu apoio aos profissionais de saúde e cientistas que estão na linha de frente no combate e produção da vacina do COVID-19. ■

Geopolítica do Petróleo

por Ingrid Araujo

Estamos ainda na metade do ano e já aconteceram diversas oscilações no cenário geopolítico do petróleo. O mercado de óleo e gás é repleto de incertezas futuras, o que torna complexa as projeções de longo prazo, essas incertezas são extremamente desafiadoras já que muitas negociações precisam ser tomadas com antecedência. O avanço da pandemia do COVID-19 mudou radicalmente o dia-a-dia das pessoas ao redor do globo. As medidas restritivas aplicadas pelos governantes a fim de frear a propagação do vírus tem restringindo locomoções internamente e para fora do país, essas restrições influenciam diretamente o consumo de derivados do petróleo, dentre eles, principalmente aqueles utilizados no setor de transporte (setor que representa 50% da demanda de petróleo, segundo dados da World Oil Outlook 2019).

Principais acontecimentos deste ano

Em março deste ano recebemos a notícia de que os contratos futuros do petróleo do tipo WTI (*West Texas Intermediate*), que expiraram em maio, serem negociados a preços negativos - algo nunca visto na história até então. Essa notícia, anunciada pelas mídias do mundo todo, cobriu estudantes, profissionais e empresários do ramo com uma névoa de espanto e incertezas futuras. Este tipo de contrato futuro, diferente dos negociado no Brasil, exige a entrega das commodities compradas de forma física e este fato, atrelado a baixa demanda mundial por conta do novo COVID-

19 fez com que os estoques globais de petróleo atingissem a capacidade máxima de armazenamento. Com isso produtores e investidores viram os preços para armazenamento do óleo subirem de forma inviável, e por consequência seu negócio perder viabilidade.

Em janeiro deste ano, Rússia e os países constituintes da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) decidiram aumentar sua produção diária de óleo, esse aumento gerou uma grande saturação na oferta mundial de petróleo, o que levou em março deste ano 99 milhões de barris de petróleo por dia chegando o petróleo do tipo *brent* a \$ 19 dólares o barril, segundo dados da Administração de Informações sobre Energia dos EUA (sigla em inglês, EIA). Em abril, com o as restrições causadas pela propagação do COVID-19 ainda em alta em diversos países e o consumo de derivados de petróleo estando extremamente baixo, Rússia e OPEP entraram em um acordo para reduzir a produção de petróleo em 9,7 milhões de barris por dia (a partir do mês de maio), sendo este um corte de aproximadamente 10% da oferta global. Esse acordo realizado pela Rússia e pela OPEP atenuou a situação, e os preços do petróleo do tipo *brent*, em maio, voltaram a subir tendo uma recuperação significativa com um aumento de \$11 dólares o barril (dados relatório mensal de junho/2020, EIA).

Demanda mundial e energias renováveis

A demanda mundial por energia tem dois países emergentes como destaques: China e Índia. Atualmente com a pandemia do COVID-19 a demanda chinesa caiu expressivamente dada as restrições de viagem. Isso é um grande problema, já que a China é o maior importador de petróleo do mundo com 11,296 bilhões de barris de petróleo por dia, segundo dados da Reuters. De acordo com os dados do relatório da Opep, existe uma estimativa de que a demanda mundial por petróleo caia em 9,1 milhões de barris por dia no primeiro semestre de 2020. Já para o segundo semestre essa estimativa é ainda mais negativa tendo uma previsão de recuo de 17,3 milhões de barris por dia.

Com a conscientização de políticas voltadas ao meio ambiente, como a redução de emissões de CO₂ e investimentos em energias limpas, o futuro a longo prazo do mercado do petróleo é extremamente incerto. Por mais que a humanidade vá necessitar de mais energia para avanços tecnológicos, a conscientização de políticas voltadas a preservação do meio ambiente também vão se fortalecer no futuro. Isso implicará no investimento em massa em energias ditas "limpas".

Atualmente já podemos visualizar diversas empresas que anteriormente tinham como seu principal produto negociado o petróleo, abrindo seu portfólio e se reinventando através de investimentos em empreendimentos voltados a energia limpa. Esse cenário que já começamos ver no momento irá crescer exponencialmente ao longo dos anos (figura 1), o que retira o mercado de petróleo do cenário principal de geração de energia para se tornar um mero coadjuvante dentre todas as fontes de energias futuras disponíveis.

Cenário interno brasileiro

As negociações no mercado do petróleo no Brasil levam em consideração o petróleo do tipo Brent (negociado na bolsa de Londres). Não vimos uma queda nos valores dos contratos futuros deste tipo tão violenta quanto ocorreu nos EUA, com os contratos futuros de petróleo do tipo WTI. Contudo tivemos oscilações não tão positivas para o mercado interno. Essas oscilações também foram causadas pela queda na demanda mundial por petróleo, influenciada diretamente pela pandemia do COVID-19, e pelo atraso na realização de um acordo para frear a produção de óleo entre os países de maior produção do mesmo.

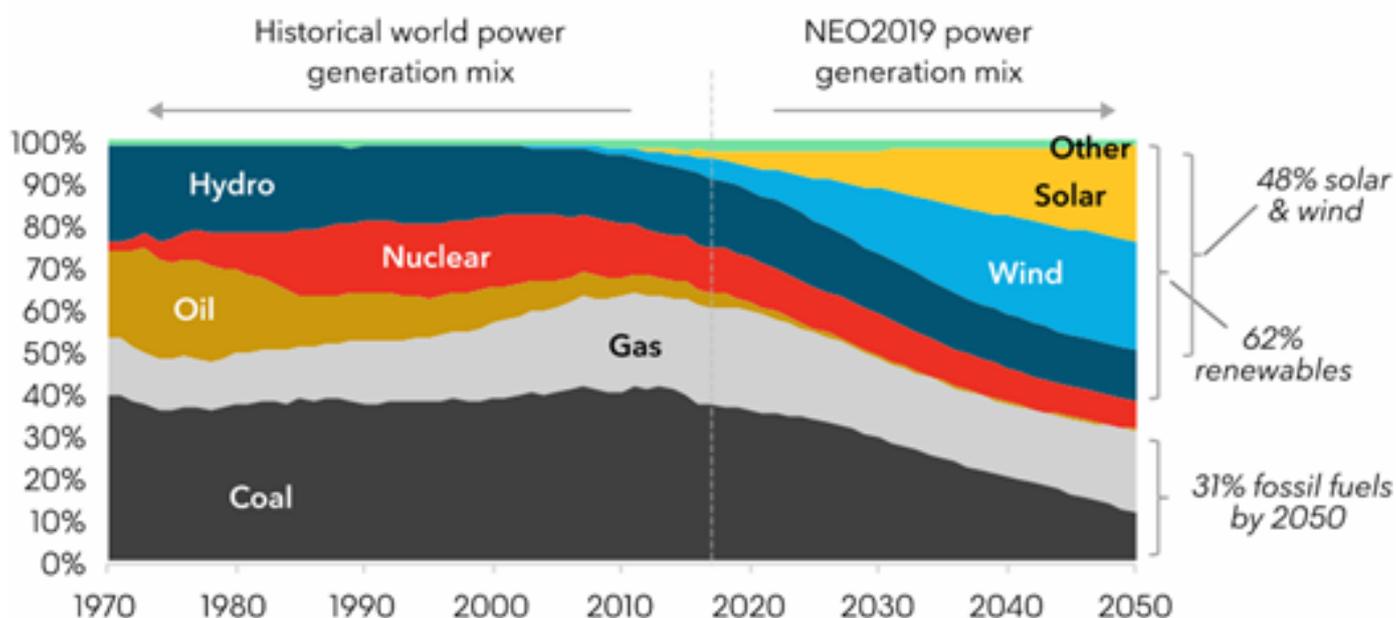


Figura – Projeção matriz energética global até 2050
(Fonte: BloombergNEF retirado do relatório do New Energy Outlook 2019)

Segundo dados da Agência nacional de petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) este período de isolamento social resultou uma expressiva queda de consumo dos seguintes combustíveis: querosene de aviação, QAV, (-85%), gasolina C (-29%), e óleo diesel B (-14%). Essa pesquisa levou em consideração o mês de abril do ano de 2019 em relação ao mês de abril de 2020. Essas expressivas quedas refletem as restrições locomotivas, o que influencia diretamente o consumo de derivados do petróleo no setor de transporte.

Plano de desinvestimentos Petrobrás e retomada do mercado Chinês

Com o pré-sal correspondendo a quase 70% da produção de óleo brasileiro a Petrobrás visa mais intensamente os seus objetivos de desinvestimentos nos campos *onshore* das bacias brasileiras, de refinarias, dentre outros ativos. Esse plano tem como seu principal objetivo diminuir a dívida líquida acumulada de 18,9 bilhões de dólares no quarto trimestre de 2019. A queda do preço do barril do petróleo dificulta essa venda de ativos da Petrobras visando a descapitalização da companhia, o que acaba sendo um empecilho nos objetivos de desinvestimentos da mesma. Com essas oscilações no preço do barril alguns potenciais compradores desses ativos, tendem a reanalisar esses investimentos repensando a lucratividade dos negócios em relação ao preço de compra e a volatilidade deste setor.

O Presidente da Petrobras, Roberto Castello Branco, afirmou que a empresa já visualiza “alguns sinais de recuperação” na demanda chinesa por petróleo. Essa retomada do mercado chinês é de extrema importância para o mercado brasileiro pois a China é o maior importador de petróleo do Brasil. Já levando em consideração o consumo interno do mercado brasileiro, o mesmo ainda está caindo significativamente como mostrados em dados anteriormente descritos da ANP. ■

O vírus, o petróleo e a Geopolítica mundial

Por José Luís Fiori, pesquisador do
Instituto de Estudos Estratégicos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis (INEEP)

Artigo publicado originalmente no jornal Le Monde Diplomatique

Data da publicação: 16 de abril de 2020

As grandes epidemias repetem-se através da história, mas não existe nenhuma explicação sobre sua periodicidade. E no caso da epidemia do Covid-19, ainda não se decifram a origem, as variações do vírus, nem o desenvolvimento provável da própria pandemia, porque não se sabe se poderá haver recidivas nacionais até o desenvolvimento de medicamentos e vacinas eficientes. Por isso mesmo, nestes momentos de grande medo e imprevisibilidade, é comum que as pessoas utilizem comparações e analogias que parecem úteis num primeiro momento, mas que são parciais e às vezes prejudicam mais do que ajudam, como no caso da referência às duas crises econômicas de 1929 e 2008. Ou também a comparação com algumas pestes que teriam provocado grandes “rupturas históricas”, como foi o caso da Peste de Justiniano, no século VI, ou mais ainda, da Peste Negra, no século XIV, que matou metade da população europeia e parece ter contribuído decisivamente para o fim do sistema feudal. É importante ter presente que as crises de 1929 e 2008 foram crises econômicas próprias do capitalismo, enquanto que a atual está sendo provocada por um fator que não obedece às “leis” da economia capitalista, mesmo quando possa provocar um estrago econômico e social equivalente ao das duas crises econômico-financeiras que são sempre lembradas quando se fala da atual epidemia do coronavírus. Da mesma forma, com relação à Peste Negra, o historiador inglês Mark Harrison chega a sustentar a tese de que teve um papel decisivo no nascimento dos Estados territoriais europeus.

E é verdade que a Peste Negra forçou uma centralização do poder, e uma delimitação territorial que foi necessária para controlar o contágio e impor novas práticas higiênicas às populações que ainda viviam sob o sistema feudal. Além disso, a tese de Harrison ajuda a entender a resposta “egoísta” dos Estados nacionais, através dos tempos, toda vez que se enfrentaram com epidemias infecciosas que se expandiram por cima de suas fronteiras territoriais. Mas mesmo que se possa estar de acordo com este tese a respeito da Peste Negra, é muito difícil dizer o mesmo de outras grandes epidemias mais recentes, como é o caso da febre amarela, do sarampo, da varíola, da malária, da tuberculose, ou mesmo do HIV ,que já atingiu e matou milhões de pessoas ao redor do mundo. Todas foram extremamente letais, mas não provocaram nenhum tipo de grande ruptura ou inflexão histórica. Outra analogia muito comum é entre as epidemias e as guerras. É uma comparação muito forte e pode ser útil para mobilizar os atores sociais relevantes, mas existem algumas grandes diferenças entre elas. Ao contrário das guerras, as epidemias não costumam destruir equipamentos físicos e não têm um adversário visível capaz de produzir uma identidade coletiva, emocional, e uma solidariedade nacional que se imponha por cima das próprias classes sociais. Ao contrário, as epidemias contagiosas infectam os indivíduos, classes e países com distintas intensidades, e provocam reações defensivas do tipo “cada um por si”, exatamente ao contrário das guerras.

Além disso, as guerras têm vencedores que impõem sua “paz hegemônica” aos derrotados, ao contrário das epidemias, em que não existem vitoriosos nem perdedores absolutos, e não existe nenhuma força material que induza qualquer tipo de acordo ou plano de reconstrução coletiva depois do tufão epidêmico. Hoje, muitos falam de um mundo novo que poderia nascer desta experiência traumática, e até apostam em mudanças humanitárias do capitalismo, mas a possibilidade de que isso ocorra é muito pequena.

De qualquer maneira, a epidemia do COVID-19 terá um impacto econômico imediato, como no caso das guerras. O que distingue o “novo coronavírus” não é sua letalidade, é a velocidade da sua expansão e seu impacto imediato sobre as taxas de desemprego que explodem em poucos dias. O vírus foi identificado na China no final do mês de dezembro de 2019, e em apenas três meses atingiu 200 países e já contagiou mais de um milhão e meio de pessoas. Alguns infectologistas preveem de 6 a 7 meses de duração da epidemia, e alguns economistas falam num impacto recessivo cuja duração pode chegar de 2 a 3 anos. Tudo dependerá da extensão e duração da epidemia nos Estados Unidos e na Europa, e da existência ou não de recidivas nos países que já controlaram o primeiro surto epidêmico. É provável que a queda do PIB norte-americano seja maior do que a da crise de 2008/09, mas ninguém deve enganar-se com relação ao próprio futuro americano. O epicentro da crise de 2008 foi nos EUA, e no entanto, durante a segunda década do século XXI, os EUA aumentaram sua participação no PIB mundial, de 23% para 25%, enquanto seu mercado de capitais crescia 250%, ficando com 56% da capitalização financeira global, com cerca de 90% das transações financeiras globais sendo feitas em dólares. Ou seja, não há nada que impeça que os EUA superem esta nova crise e recuperem rapidamente seu poder econômico, na frente de todos os demais países desenvolvidos, com exceção talvez da China. De qualquer maneira, deve-se incluir neste ponto a outra grande dimen-

são desta crise mundial, a crise da indústria do petróleo, provocada pela queda da demanda mundial em consequência da própria epidemia, começando pela desaceleração da economia chinesa, e depois alastrando-se para toda a economia mundial, com um baque imediato do preço do barril de petróleo, que caiu de U\$ 70 para U\$ 23 b/p/d, flutuando depois em torno de U\$ 30 b/p/d. Não se sabe ainda quanto tempo durará a epidemia, nem tampouco a recessão da economia mundial, nem se consegue prever o tempo da recuperação econômica depois da pandemia. Mas mesmo que as novas negociações entre a OPEP+ e o G20 cheguem a um acordo sobre novos níveis e produção e o rateio do corte entre os países produtores, é muito pouco provável que o novo preço seja superior a U\$ 35 b/p/d.

Esse novo valor deverá ter um impacto gigantesco sobre a geoeconomia da produção mundial de petróleo. Neste nível de preços, é muito provável que a indústria americana do *shale oil* tenha que ser protegida pelo governo para não quebrar, e assim mesmo, o mais provável é que os EUA percam sua posição atual como maiores produtores mundiais de petróleo. Poderá haver uma grande perda de mercado por parte dos países produtores de mais altos custos, com a perspectiva imediata de uma nova crise da dívida externa soberana de países como Equador, México, Iraque, Nigéria, etc. Esses preços afetariam também a capacidade fiscal da Rússia e da Arábia Saudita, e atingiriam em cheio países que já estão sofrendo sanções dos Estados Unidos, como é o caso da Venezuela e do Irã, para não falar da própria Rússia. Seja como for, as perspectivas pela frente são muito ruins para o mercado mundial do petróleo e, como consequência, para o mercado financeiro globalizado.

Num primeiro momento, como em todas as grandes catástrofes e guerras, o Estado está sendo obrigado a centralizar as decisões e o planejamento sanitário e econômico do país, e está sendo obrigado a realizar intervenções econômicas “heterodoxas”, através do aumento de seus gastos em saúde, e ainda através do aumento de seus gastos em saúde,

e ainda através da multiplicação pura e simples do dinheiro disponível para pessoas e empresas. Mas nada disto garante que depois da crise os governos desses países mantenham essa mesma política econômica, e esse mesmo “voluntarismo estatal” que se encontra na contramão do neoliberalismo dominante nas últimas décadas, no capitalismo ocidental. É muito provável que, depois da tempestade, as grandes potências revejam sua participação nas produtivas globais, sobretudo no caso de bens estratégicos. E é também muito provável que a China e a Rússia, e mais alguns países europeus, procurem aumentar seu grau de liberdade com relação ao sistema financeiro norte-americano, e aumentem o grau de proteção mercantilista de suas economias. Entretanto, no caso dos países periféricos, o mais provável é que, apesar de tudo, decidam enfrentar suas “dívidas da epidemia” negociando com o FMI e retornando a suas políticas anteriores de austeridade fiscal, com a venda acelerada de seus patrimônios públicos na “bacia das almas”, para poder “pagar as contas” deixadas pelo coronavírus. Apesar da devastação econômica imediata provocada pela epidemia, o mais provável é que ocorram grandes rupturas geopolíticas dentro do sistema mundial. O que ela fará é acelerar a velocidade das transformações que já estavam em curso e que seguirão se aprofundando. Alguém já disse que é na hora das grandes pestes que se conhece a verdadeira natureza das sociedades, e o mesmo se pode dizer desta pandemia que está apenas desvelando o que já estava na nossa frente e que muitos não conseguiam ver, inclusive a retirada do último véu de hipocrisia da “ordem liberal” e da “hegemonia americana” do século XX.

O epicentro da epidemia já se deslocou para a Europa, e agora para os Estados Unidos, e não se sabe quanto durará, mas de fato a grande incógnita e o grande medo é com o que possa acontecer quando ela se expanda para os países mais pobres da África, do Oriente Médio e da América Latina.

Até porque, como sempre acontece nas grandes crises, serão as grandes potências que se recuperarão na frente, começando pela China e pelos Estados Unidos. Por isso, o mais provável é que esta epidemia aumente a desigualdade e a polarização do mundo, que já vinham crescendo de forma acelerada desde a crise financeira de 2008. E deve acentuar a nova virada nacionalista do sistema interestatal que já vinha se manifestando desde o início do século XXI, e assumiu alta velocidade depois da eleição de Donald Trump. A Rússia deverá sofrer um novo baque econômico com a epidemia e com a crise da indústria do petróleo, mas isto não deverá afetar a nova posição que ela readquiriu como grande potência militar dentro do sistema mundial.

No caso da União Europeia, entretanto, a pandemia deve acelerar o seu processo de desintegração que entrou em alta velocidade depois do *Brexit*. A China, por sua vez, não deve alterar o curso do seu projeto expansivo programado para a metade do século XXI; pelo contrário, deve acelerá-lo aproveitando as oportunidades e brechas abertas pela decomposição europeia, e pelo distanciamento norte-americano de seus antigos aliados europeus. Por fim, depois da pandemia, a competição e os conflitos entre a China e os Estados Unidos devem aumentar em escala exponencial, sobretudo se Donald Trump for reeleito no mês de novembro de 2020, e se seguir em frente com sua decisão de estrangular a economia e a sociedade venezuelanas, através de sanções comerciais e financeiras, e agora através de um bloqueio naval que pode se transformar, em breve, no pé de apoio de uma invasão militar, ou de um bombardeio aéreo feito a partir de seus próprios navios que já estão mobilizados no Caribe. Seria a primeira guerra na América do Sul envolvendo as grandes potências militares do mundo. E seria talvez a primeira grande tragédia da história da América do Sul no século XXI. ■

Como o capítulo estudantil vem enfrentando a quarentena?

por Luiz Felipe

Para a UERJ Geophysical Society a quarentena começou no dia 06/03/2020, foi o dia que a notícia que as atividades da universidade estavam suspensas por 15 dias chegou, e logo mais esses 15 dias teriam se transformado nos 6 meses reclusos que se passa agora. Na época o capítulo estava no ápice das suas atividades, conversando com empresas e propondo parcerias para novas atividades, começando a planejar o 3º workshop de geofísica aplicada, mas com a chegada do novo vírus todo o planejamento foi interrompido. Foi uma semana discutindo o que fazer sem atividades presenciais, e logo surgiu a ideia de fazer *lives* no instagram. Essa foi a primeira proposta de atividade durante a quarentena, a ideia foi apresentar métodos geofísicos de uma maneira mais informal e rápida, cativando o público durante uma hora de bate-bato com um especialista.

As *lives*, que aconteceram sempre às quintas-feiras às 19:00 horas, tomou proporções que não esperávamos. Foram exibidas um total de 11 *lives*, foram onze semanas de programação ininterruptas apresentando variados temas, desde apresentar o método GPR até discutir o dia a dia do trabalho do geólogo em uma empresa. Além de ser a proposta principal de atividade durante a quarentena, as *lives* também contribuíram para o crescimento do capítulo. O instagram que antes contava com aproximadamente 300 seguidores, agora já passa de 1000 e continua ganhando seguidores todos os dias. Mas as *lives* não foram a única atividade do capítulo na quarentena. Junto com outros capítulos da América Latina foi desenvolvido o Primeiro Ciclo de Conferências e em Geociências da América Latina, que contou

com a presença de capítulos de diversos países, como Chile, Argentina, Peru, Venezuela e México. Ao longo de aproximadamente um mês e meio, toda segunda e sexta um capítulo apresentava um webinar, a UERJ Geophysical Society trouxe logo na segunda semana o professor Marcus Vinicius Berao para apresentar sobre petrofísica, uma palestra que rendeu muitos elogios ao professor. E a presença no ciclo de conferencias não foi a única colaboração internacional do capítulo nesse período, ainda tivemos a oportunidade de trabalhar novamente com capítulos de outros países no CIVGEO, o primeiro Congresso Internacional Virtual de Geociências.

Além dessas atividades, o nosso capítulo completou cinco anos de atividades e esse marco não poderia passar em branco. Fizemos um evento nomeado 5A1K que além de celebrar nosso quinto ano, celebrou também a nossa marca de 1000 seguidores no instagram. Totalmente online, o evento contou com 6 palestras divididas em 3 dias e 2 minicursos que se prolongaram pela semana e ainda contou com o apoio da **Halliburton e Oceanering**.

Sabendo que a quarentena vai se estender pelos próximos meses, a equipe do capítulo estudantil UERJ Geophysical Society já está planejando o III Workshop de Geofísica Aplicada previsto para ocorrer no último trimestre desse ano. Além do workshop, estão ainda trabalhando outras ideias para que as atividades do capítulo sempre estejam em alta.

Para se manter conectado com o UERJ Geophysical Society, basta seguir o perfil do capítulo nas redes sociais. ■

Recomendações de Leitura

por Luiz Felipe

Antes de começar minha indicação gostaria de me apresentar um pouco para vocês, leitores da UERJ Geophysical Society Magazine. Meu nome é Luiz Felipe, mas podem me chamar de Felipe. Eu sou estudante de Geologia na Universidade Estadual do Rio de Janeiro e também presidente do capítulo estudantil UERJ Geophysical Society. Conheço meu interesse pelo tema que vou trazer, ciência forense, desde antes de entrar na faculdade, sempre foi um tema que me chamou muita atenção, acredito que pelo caráter investigativo e também fato de poder contribuir de forma direta (e correta) para sociedade.

O artigo que trago nessa edição da revista como indicação eu conheci quando buscava um paper para apresentar no seminário das aulas geofísica. Nada melhor do que apresentar algo que você realmente gosta, não é!?

O meu tema a principio era GPR, eu tinha que apresentar para aquele seminário algo relacionado com o georadar. Na biblioteca virtual da SEG eu li diversos artigos sobre GPR, desde como estudar a linha de costa até identificação do tamanho da raiz da mandioca (bem interessante também esse último), mas o que mais me chamou atenção foi o artigo intitulado "Mapeamento de alvos forenses com GPR 3D". A qualidade dos resultados obtidos me surpreendeu, a resposta do sinal do GPR para determinados alvos foi impressionante, ainda mais em um 3D. Até aquele ponto eu desconhecia o GPR 3D, e observando aquela figura do resultado eu realmente fiquei excitado com o assunto. Um dos alvos de melhor resposta foi uma espingarda, onde o contorno do objeto fica nítido no radargrama. Um dos alvos de melhor resposta foi uma espingarda, onde o contorno do objeto fica nítido no radargrama.

No entanto, como respostas negativas também são resultados, no artigo foi concluído de projetos de chumbos e objetos pequenos não metálicos não oferecem uma boa resposta para o sinal do equipamento. Mas isso não invalidou o meu interesse pelo paper, pelo contrário, trouxe informações sobre quais alvos são mais resposiveis ao método eletromagnético.

Bom, não vou me prolongar ou vou acabar contando o artigo todo para vocês. O link para o paper está disponível no final dessa seção junto com o breve resumo. Espero que tenham interesse assim como eu pela área.

• Mapeamento de alvos forenses com GPR 3D

Kamylla de Lima Alves (limaalves.ke@gmail.com - Graduanda em Geofísica do IG/UnB)

Marcelo de Lawrence Bassay Blum (blum.mlbb@dpf.gov.br - Perito Criminal Federal INC/DPF)

Welitom Rodrigues Borges (welitom@unb.br - Docente do IG/Unb)

Resumo: O primeiro Sitio de Testes Controlados em Criminalística (SITCRIM) do Brasil foi criado em 2012 pelo Instituto Nacional de Ciência Forense, do Departamento da Polícia Federal (INC/DITEC/DPF). O SITCRIM tem uma área de 625m², está localizado em um terreno da Polícia Federal em Brasília-DF. Em uma pequena parte do sitio (2,5m x 3,5m), foi desenvolvido atividades com GPR (Ground Penetrating Radar), no qual foram enterrados alvos forenses como armamentos e munição. ■

Link:

<https://library.seg.org/doi/10.1190/sbgf2013-174>

Monitoramento geofísico da remediação por sistema bioeletroquímico de solos contaminados por hidrocarbonetos.

por: Deqiang Mao, Lu Lu, André Revil, Yi Zuo, John Hinton, and Zhiyong Jason Ren

Traduzido por: Fabiane Santana

Resumo: Para monitorar o processo de remediação de contaminação do solo são desejáveis técnicas eficientes e não invasivas. No experimento com a sandbox dois solos arenosos e argilosos inicialmente foram contaminados com diesel, foi aplicada a técnica de resistividade por corrente direta para obter imagens da mudança de condutividade. Os experimentos duraram por 230 dias. A remoção de hidrocarbonetos foi melhorada por um sistema bioeletroquímico (SBE) e o potencial elétrico do reator de SBE foi monitorado durante o período do experimento. Encontramos que a variação na condutividade elétrica observada nos tomogramas correlacionam bem a remoção do diesel do solo arenoso, entretanto, esse não é o caso observado com o solo argiloso. O solo argiloso é caracterizado por uma maior área específica de superfície e portanto, uma maior área de condutividade. No solo arenoso, a remoção do diesel e seus produtos de degradação levam a um aumento na condutividade elétrica durante os primeiros 69 dias. O resultado é esperado, devido ao diesel ser um isolante elétrico. Para ambos os solos, a atividade do reator SBE é imageada pela inversão da condutividade do tomograma do reator. Um aumento na produção de corrente pela atividade da bactéria eletroquimicamente ativada corresponde a um aumento na condutividade do reator.

Introdução: A contaminação por hidrocarbonetos devido derramamentos ou vazamentos de tanques representam uma ameaça ao meio ambiente. Além da atenuação natural dos contaminantes, soluções de engenharia tem sido aplicadas para melhorar o processo de remediação.

Recentemente, sistemas bioeletroquímico (SBE) foram desenvolvidos e testados na remediação de solos contaminados por hidrocarbonetos. Durante o processo de remediação, o SBE proporciona um ambiente para a bactérias eletroquimicamente ativa (BEA) para catalisar a oxidação de compostos orgânicos doadores de elétrons, por exemplo, contaminação por hidrocarbonetos, e a doação de elétrons para o ânodo. Elétrons produzidos são coletados no anodo e transferidos por um circuito externo para o catodo, onde O₂ funciona como um terminal ilimitado de acceptor de elétrons. Estudos anteriores mostram que o SBE pode aumentar a degradação de hidrocarbonetos em até 241% em solos saturados. No processo não é requerida energia externa, em fato, é produzida uma pequena corrente que pode ser usada para ligar pequenos sensores eletrônicos para o monitoramento no local.

Apesar de o SBE ter demonstrado melhora na remediação do solo contaminado por hidrocarbonetos e produzir corrente como uma forma de monitoramento, ainda é usado a técnica tradicional de medida de hidrocarbonetos de petróleo totais (TPH), que é intrusiva e demanda mais tempo. A medida de TPH envolve amostragem de solo, mistura com compostos voláteis e tóxicos, além de múltiplos estágios de extração usando vórtice e sonicação.

Outro problema é a cobertura espacial da medidade TPH, que normalmente é muito limitada. Com o propósito de fornecer informações mais precisas, em tempo real e de fácil monitoramento, necessita-se com urgência de novos métodos que sejam rápidos e não intrusivos. A resistividade elétrica é um método geofísico não invasivo que consiste

de imagear a resistividade elétrica ou condutividade elétrica de meios porosos.¹⁵ A condutividade elétrica é sensível a salinidade e temperatura, conteúdo de água, e capacidade de troca catiônica (CTC) ou área específica de superfície (Ssp) dos solos. Durante o ensaio de resistividade, uma corrente elétrica é injetada pelos eletrodos de corrente, e ao mesmo tempo, a diferença de potencial elétrico é medida nos eletrodos de voltagem. O método da resistividade tem sido aplicado no monitoramento do movimento de plumas salinas e de contaminantes. Para a contaminação de hidrocarbonetos de petróleo, estudos tem mostrado o potencial do monitoramento pelo método de resistividade elétrica. Diversos experimentos laboratoriais tem sido conduzidos em amostra de solo, misturando produtos de hidrocarbonetos com solo não contaminado, para compreender a relação entre condutividade elétrica e a contaminação por hidrocarbonetos.²⁶⁻²⁸ Para óleos em fase não aquosa, como por exemplo, o diesel a medida de condutividade é relacionada com o conteúdo de hidrocarbonetos, com um menor conteúdo sendo correspondente a uma maior condutividade. A afirmativa é verdadeira tanto para óleo (fresco) como para óleo biodegradado tirado de campos.

No estudo, o diesel foi escolhido como o hidrocarboneto contaminante e misturado com solo arenoso e argiloso em dois tanques para a caracterização da eficiência do reator de SBE na aceleração da degradação de hidrocarbonetos. Quando o diesel, que não é condutivo, é consumido por degradação e removido do solo, é esperado o aumento na condutividade elétrica do material. Um intervalo de tempo é designado para capturar as mudanças no tanque de experimento durante a análise de resistividade. O objetivo é estabelecer a relação entre o conteúdo de TPH do diesel e as medidas de variações da condutividade elétrica. Ao mesmo tempo, além de monitorar a voltagem gerada pelo reator de SBE, os reatores são avaliados em termos de resistividade a variação da condutividade.

Materiais e Métodos:

Configuração do tanque. Os dois tanques usados na análise possuem dimensões de 40cm x 5,5 cm x 20cm (Figura 1). O reator de SBE foi colocado no lado esquerdo de cada tanque. O reator SBE tipo coluna, foi caracterizado por um diâmetro de 4,5cm. Um total de 32 eletrodos de aço inoxidável foram fixados na parede lateral do tanque.

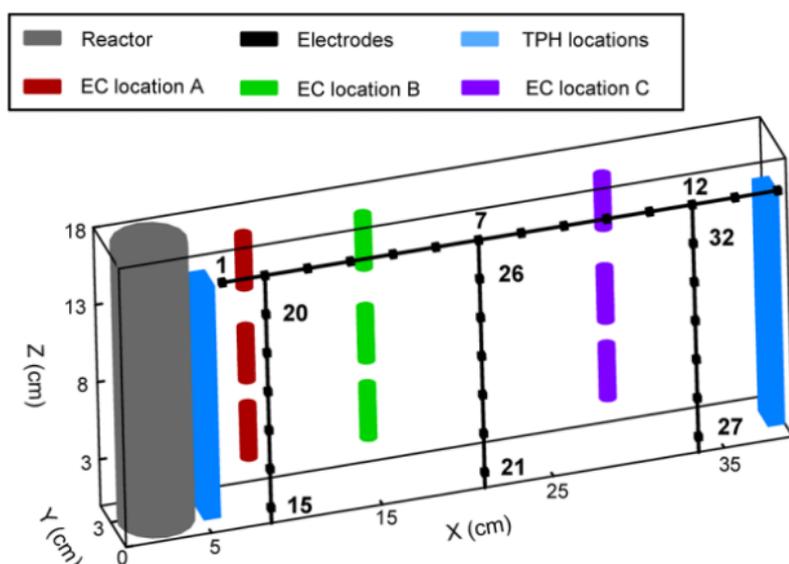


Figura 1 - Configuração do tanque usada para o experimento. Atualmente o reator BES foi monitorado por um sistema de aquisição de dados. Um total de 32 eletrodos de resistência (cubos pretos) foram fixados na parede lateral do tanque. Dois locais (x = 5 e 39 cm, azul claro) foram usados como TPH locais de amostragem durante todo o experimento. Finalmente, nove amostras de solo foram retiradas de três locais A, B e C no final de experimentos para medições de condutividade elétrica (CE).

Esses eletrodos foram conectados com soquete ao painel para o ensaio de eletrorresistividade. Dois locais a $x= 5$ cm e $x= 39$ cm, cada com 1 e 35 cm de distância do reator, foram usados como locais de amostragem de HPT. Três locais A, B e C, $x= 7$ cm, 14 e 30cm, foram escolhidos como medidas de condutividade elétrica no final do experimento. Para cada um dos três locais, foram retiradas amostras de três diferentes profundidades.

Dois diferentes tipos de solos, arenosos e argilosos, em condições saturadas foram usados para testar a efetividade do reator de SBE. Os dois solos foram preparados usando uma mistura natural de solo com sílica pura areia (tipo 7030 da corporação Unimin) ou argila pura (Pottery clay da Stone Leaf Pottery). Solo natural é necessário para população de bactérias indígenas. As características de solos naturais foram reportadas por Lu et al. (2014).

Após a mistura, o solo arenoso (57,14% areia, 28,93% silte e 13,93% argila em peso seco) foi caracterizado como areia argilosa e solo argiloso (33,12% areia, 35,46% silte e 31,42% argila em peso seco) foi caracterizado como silte argilosa de acordo com a classificação de textura de solo USDA. A porosidade do solo arenoso é 0,41 e do solo argiloso 0,50. Ssp de solo arenoso foi medido a 1,68m²/g, e 4,07m²/g para o solo argiloso, com o método BET. Os valores de CTC de solo arenoso e argiloso são calculados como 0,56meq/100g e 1,35meq/100g, assumindo duas cargas elementares por nm². Diesel foi escolhido para representar os contaminantes de hidrocarbonetos. Antes de ser colocado no tanque o solo foi misturado com diesel. Os solos foram saturados com água de lençol freático artificial. A água de lençol freático artificial é uma solução de 4mM Na⁺, 0,2mM Ca⁺, 0,1mM Mg²⁺, 2,4mM Cl⁻, 2mM HCO₃⁻, e 0,1mM SO₄²⁻ em água deionizada (condutividade = 0,05 S/m at 22°C, pH=8,2). Durante todo o experimento e em ordem de minimizar a evaporação, ambos os tanques foram cobertos com tampas de plástico na superfície, excluindo a área onde o reator estava alocado.

O tubo oco do reator foi deixado aberto exposto ao ar, que fornece um terminal aceptor de elétrons na forma de O₂.

A água perdida devido a evaporação e vazamento no reator de SBE foi aproximadamente compensada pela adição de água deionizada (DI) duas vezes na semana para manutenção da saturação. A condição saturada foi observada pela umidade na superfície de cada tanque.

Operação de reator bioeletroquímico. Para ambos os reatores, tecido de fibra de carbono com catalizador de carvão ativado serviram como um cátodo de ar. Para o ânodo, foi usado feltro de carbono. Foi utilizada membrana de mudança catiônica, como separador entre o catodo e o anodo. Ambos os reatores foram envolvidos em um tubo de PVC perfurado, a altura do tubo de PVC era de 25cm. Informações detalhadas sobre como construir um reator podem ser encontradas em Lu et al. (2014).

A corrente contínua gerada no processo de remediação foi monitorada e avaliada por um circuito externo com um resistor durante todo o período do experimento. Um resistor externo de 1000Ω foi utilizado no início do experimento quando uma voltagem relativamente grande e sustentável (>100mV) foi observada em poucos dias após o início do experimento, após 162 dias o resistor foi trocado por um menor de 100 Ω para acelerar o processo de remediação.

O controle do experimento foi feito em contêiner separado com a dimensão de 8cm X 5cm por biodegradação natural. Para o controle do experimento não foram usados reatores de SBE e eletrodos para medir o potencial elétrico, portanto, a variação de TPH reflete a biodegradação natural. Para comparação as medidas de TPH do controle foram obtidas no mesmo tempo em que as medidas dos tanques do experimento.

Amostragem de solo. Amostras de solo foram tiradas durante o experimento de duas distâncias ($x= 5$ cm e $x= 39$ cm) do reator. (Figura 1) para a medida de TPH.

Após a mistura, o solo arenoso (57,14% areia, 28,93% silte e 13,93% argila em peso seco) foi caracterizado como areia argilosa e solo argiloso (33,12% areia, 35,46% silte e 31,42% argila em peso seco) foi caracterizado como silte argilosa de acordo com a classificação de textura de solo USDA. A porosidade do solo arenoso é 0,41 e do solo argiloso 0,50. Ssp de solo arenoso foi medido a 1,68m²/g, e 4,07m²/g para o solo argiloso, com o método BET. Os valores de CTC30 de solo arenoso e argiloso são calculados como 0,56meq/100g e 1,35meq/100g, assumindo duas cargas elementares por nm². Diesel foi escolhido para representar os contaminantes de hidrocarbonetos. Antes de ser colocado no tanque o solo foi misturado com diesel. Os solos foram saturados com água de lençol freático artificial. A água de lençol freático artificial é uma solução de 4mM Na⁺, 0,2mM Ca⁺, 0,1mM Mg²⁺, 2,4mM Cl⁻, 2mM HCO₃⁻, e 0,1mM SO₄²⁻ em água deionizada (condutividade = 0,05 S/m at 22°C, pH=8,2). Durante todo o experimento e em ordem de minimizar a evaporação, ambos os tanques foram cobertos com tampas de plástico na superfície, excluindo a área onde o reator estava alocado. O tubo oco do reator foi deixado aberto exposto ao ar, que fornece um terminal acceptor de elétrons na forma de O₂. A água perdida devido a evaporação e vazamento no reator de SBE foi aproximadamente compensada pela adição de água deionizada (DI) duas vezes na semana para manutenção da saturação. A condição saturada foi observada pela umidade na superfície de cada tanque.

Operação de reator bioeletroquímico. Para ambos os reatores, tecido de fibra de carbono com catalizador de carvão ativado serviram como um cátodo de ar.³²⁻³⁴ Para o ânodo, foi usado feltro de carbono. Foi utilizada membrana de mudança catiônica, como separador entre o catodo e o anodo. Ambos os reatores foram envolvidos em um tubo de PVC perfurado, a altura do tubo de PVC era de 25cm. Informações detalhadas sobre como construir um reator podem ser encontradas em Lu et al. (2014).

A corrente continua gerada no processo de remediação foi monitorada e avaliada por um circuito externo com um resistor durante todo o período do experimento. Um resistor externo de 1000Ω foi utilizado no início do experimento quando uma voltagem relativamente grande e sustentável (>100mV) foi observada em poucos dias após o início do experimento, 35 após 162 dias o resistor foi trocado por um menor de 100 Ω para acelerar o processo de remediação.

O controle do experimento foi feito em contêiner separado com a dimensão de 8cm X 5cm por biodegradação natural. Para o controle do experimento não foram usados reatores de SBE e eletrodos para medir o potencial elétrico, portanto, a variação de TPH reflete a biodegradação natural. Para comparação as medidas de TPH do controle foram obtidas no mesmo tempo em que as medidas dos tanques do experimento.

Amostragem de solo. Amostras de solo foram tiradas durante o experimento de duas distâncias (x= 5cm e x= 39cm) do reator. (Figura 1) para a medida de TPH.³⁶ Em cada local foram retiradas 5g de solo do topo, meio e base do tanque, onde foram amostradas e misturadas para a medida de TPH. Foram conduzidas sete medidas de TPH nos dias 0, 8, 40, 60, 120, 150, e 200 em cada local durante todo o experimento. O valor inicial de TPH para solo arenoso e argiloso foi 6960mg/kg e 6495 mg/kg, respectivamente. No fim do experimento, amostras de solo foram obtidas de três diferentes locais, A, B e C (Figura 1) para medida de condutividade elétrica, em cada local, amostras foram retiradas de níveis diferentes, inferior (z=1,5cm - 4cm), médio (z= 6,5 cm - 9cm) e superior (z= 11,5cm -14cm).

Em cada local a condutividade média dos três níveis foi comparada com os resultados de resistividade do tomograma.

A condutividade do solo foi medida em 1:5(P/V) mistura solo: água deionizada (DI).³⁷ Com esse método, a condutividade elétrica inicial para solo arenoso e argiloso foi 558 μS/m e 1109 μS/m, respectivamente.

Em cada local foram retiradas 5g de solo do topo, meio e base do tanque, onde foram amostradas e misturadas para a medida de TPH. Foram conduzidas sete medidas de TPH nos dias 0, 8, 40, 60, 120, 150, e 200 em cada local durante todo o experimento. O valor inicial de TPH para solo arenoso e argiloso foi 6960mg/kg e 6495 mg/kg, respectivamente. No fim do experimento, amostras de solo foram obtidas de três diferentes locais, A, B e C (Figura 1) para medida de condutividade elétrica, em cada local, amostras foram retiradas de níveis diferentes, inferior ($z=1,5\text{cm} - 4\text{cm}$), médio ($z= 6,5 \text{ cm} - 9\text{cm}$) e superior ($z= 11,5\text{cm} - 14\text{cm}$). Em cada local a condutividade média dos três níveis foi comparada com os resultados de resistividade do tomograma. A condutividade do solo foi medida em 1:5(P/V) mistura solo: água deionizada (DI). Com esse método, a condutividade elétrica inicial para solo arenoso e argiloso foi 558 $\mu\text{S/m}$ e 1109 $\mu\text{S/m}$, respectivamente.

Medida de condutividade na coluna de solo. Os tomogramas das medidas de condutividade são afetados tanto pela condutividade da superfície como pela condutividade do fluido nos poros, e essas duas contribuições não podem ser separadas em um ensaio de resistividade. Portanto, além do experimento no tanque, um experimento de coluna de solo foi configurado para separar a influência da condutividade da superfície e o conteúdo de TPH nos dois diferentes tipos de solos. Uma configuração com quatro eletrodos (dois eletrodos de corrente e dois eletrodos de voltagem) foi adotada. A coluna de solo possuía um diâmetro de 3cm e comprimento de 11cm. Dois pratos de aço inoxidável foram usados como eletrodos de corrente nas duas extremidades da coluna, e potenciais de eletrodo de Ag-AgCl foram inseridos no meio da coluna com espaçamento de 3cm. As amostras de solo foram saturadas em uma câmara a vácuo. Todas as medidas foram realizadas com o medidor de impedância ZEL-SIP04-V02.

Foi escolhida a impedância a 1 Hz para representar a condutividade elétrica durante um ensaio de resistividade para análise. Segundo Waxman e Smits, condutividade elétrica σ (S/m) do material a baixa frequência pode ser representada como

$$\sigma = \frac{1}{F} \sigma_w + \sigma_s \quad (1)$$

Onde F (sem dimensão) é o fator de formação relacionado com a porosidade conectada do solo pela relação da lei de poder conhecida como lei Archie, σ_w é a condutividade de água no poro, e σ_s é a condutividade da superfície associada com a condução na dupla camada elétrica cobrindo a superfície dos grãos. Essa superfície de condutividade é controlada pelo Ssp do CTC das argilas. Seis eletrólitos foram obtidos pela mistura de água deionizada e NaCl puro, na seguinte condutividade (em 298K) $\sigma_w = 0,002 \text{ S/m}$, 0,02 S/m, 0,08 S/m, 0,2 S/m, 0,8 S/m, e 2,0 S/m.

Para os valores de TPH no solo, quatro diferentes razões foram testadas, HPT= 0,0g/kg, 7,5g/kg, 13g/kg e 32g/kg; 0,0g/kg significa que não foi adicionado diesel no solo. Primeiro foi adicionado diesel ao solo e depois água de lençol freático foi adicionada. Com a adição do diesel, foi necessário um maior tempo para retirar o ar da mistura (aproximadamente 3h nesse estudo) comparado com apenas água como fluido no poro (0,6 h) em uma câmara a vácuo. A potencial perda de diesel devido a evaporação não foi contabilizada. Nesse curto período de medidas, também não foi levada em consideração a degradação natural dos contaminantes de diesel na condutividade elétrica.

Coleta e inversão de dados de resistência.

Os ensaios de resistividade foram conduzidos oito vezes durante o experimento (Figura 2), nos dias 12, 26, 42, 69, 105, 187 e 230, com um intervalo de duas semanas no início do

teste e um intervalo de 1,5 mês no fim. Para cada ensaio, 480 medidas de resistência foram obtidas com o instrumento ABEM LS para cobrir todo o tanque, a duração do ensaio foi de 15min. Para as 480 medidas, foram escolhidos pares AB de eletrodos de corrente, configurados em 14 pares horizontais e 3 pares verticais, isso é, AB= 15 e 21, 2 e 7, 21 e 27, e 15 e 2.

Para cada injeção de corrente de par AB, pares de eletrodos de potencial foram escolhidos sob o esquema de pule um. Por exemplo, para AB = 2 e 15, pares de eletrodos potenciais MN = 3 e 5, 4 e 6, 5 e 7, e assim continuamente.

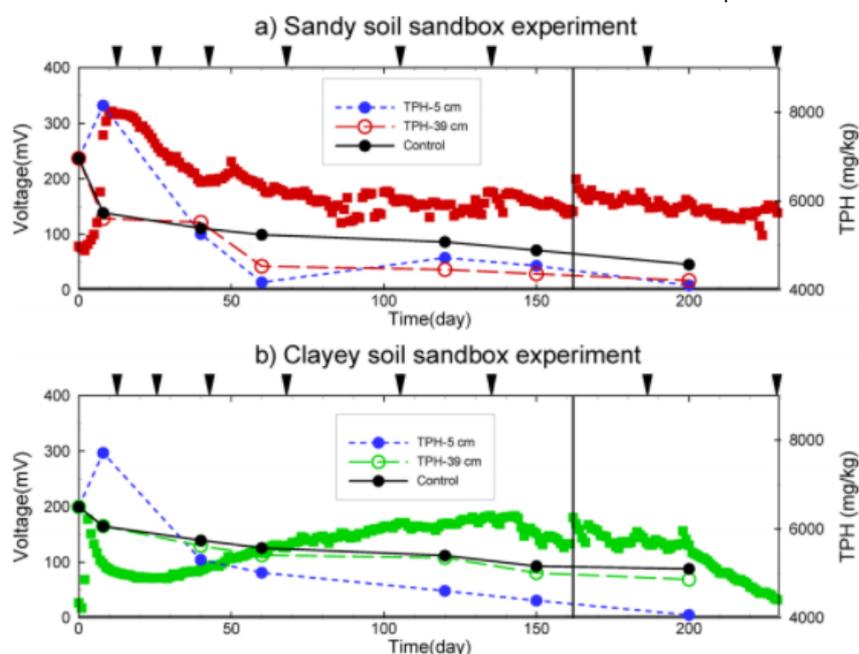


Figura 2 - Séries temporais da geração de voltagem de reatores BES e degradação de TPH durante o experimento. a) Solo arenoso. b) Solo argiloso. Oito pesquisas de resistividade foram conduzidas nos dias 12, 26, 42, 69, 105, 135, 187 e 230. Eles são indicados como triângulos preenchidos invertidos. Variação TPH medidos para cada tanque e os resultados são referidos ao eixo Y no lado direito do gráfico. Sete medições de TPH foram feitas no dia 0, 8, 40, 60, 120, 150 e 200. Os experimentos de controle dos dois solos foram preparados em recipientes diferentes sem reatores BES. Representa o natural biodegradação. As linhas contínuas verticais no dia 162 indicam a mudança do resistor de 1000Ω para 100Ω .

Todas as 480 medidas foram usadas na inversão. Para tanque, as resistências de todos os oito ensaios foram invertidas juntamente com a técnica de limitação de tempo ativo (LTA - ATC). Essa técnica melhora o imageamento no espaço tempo especialmente quando o dado é corrompido por grandes ruídos. Devido a diferença de sensibilidade do ensaio de resistividade com uma maior sensibilidade próximo as matrizes

de eletrodos, os resultados são apresentados em termos de razão de condutividade, o que mostra melhor as variações. O resultado do primeiro ensaio (dia 12) foi tratado como referência. A razão de condutividade entre os outros sete ensaios e o primeiro foi apresentada para discussão. Desse modo, uma razão de condutividade maior que 1,0 indica um aumento na condutividade elétrica.

A inversão foi realizada com o código de um elemento finito de três dimensões construído em ambientes Comsol e Matlab. Devido a menor espessura na direção y do menor tanque, foi assumido que não houve variação na direção y. Portanto, os resultados de inversão são apresentados como tomogramas cruzados bidimensionais.

Resultados e discussões

Geração de voltagem.

Figura 2 mostra o perfil de voltagem dos dois tanques. Voltagem estável foi gerada em ambos os tanques. No início a voltagem elétrica possuía um membro em ascensão devido a adaptação da comunidade eletroquímica de bactérias indígenas, e então a voltagem alcançou um valor estável. Foi observado um maior período para a voltagem alcançar um valor estável no solo argiloso, devido a passagem restrita de solu-

to no solo argiloso a transferência de massa é mais devagar do que no solo arenoso. Para ambos os tanques, a voltagem estabilizou quando alcançou por volta de 160mV.

Após 162 dias de experimento, um resistor de 100Ω foi usado no lugar do resistor de 1000Ω para permitir uma passagem mais rápida de fluxo de elétrons.

Ambos os reatores imediatamente mostraram

flutuações na voltagem em resposta a mudança de resistor e então a voltagem diminuiu gradualmente com o tempo. A onda imediata foi causada pelo reestabelecimento da atividade microbial com um menor resistor.

Remoção de TPH. O resultado de ambos os tanques e o experimento controle são apresentados na Figura 2 (eixo y na direita). Correspondendo ao aumento inicial de voltagem, ocorre um aumento de TPH próximo ao reator em $x= 5\text{cm}$ em ambos os tanques. Isso ocorre devido ao estabelecimento de atividade de BEA com alta absorção do anodo de feltro de carbono atraindo mais contaminantes de diesel em direção ao reator. Geralmente, TPH possui uma maior razão de remoção próximo ao reator ($x= 5\text{cm}$) e uma razão relativamente menor mais distante ($x= 39\text{cm}$).¹³ Entretanto, a diferença entre essas razões para as duas distâncias é muito pequena, principalmente para o solo arenoso. Isso prova o relativamente grande raio de influência sobre condições de solo arenosos. Uma maior razão de remoção de TPH próximo ao reator comparado com o TPH mais distante, cria um gradiente de concentração do diesel. Esse gradiente de concentração poderia levar o contaminante de diesel a difundir em direção ao reator. Outra força motriz é o gradiente hidráulico criado pelo reator de SBE perfurado. O contínuo vazamento de líquido no reator e a compensação pela adição de água deionizada na superfície também induz o movimento do contaminante de diesel. Como solo arenoso possui uma maior condutividade hidráulica, o que permite um fluxo mais rápido, a diferença entre as medidas de HPT entre as duas distâncias é menor do que comparado ao solo argiloso.

Solo arenoso apresenta maior razão de remoção que o solo argiloso baseado na tendência geral. Ambos os experimentos de SBE possuem maior razão de remoção de TPH que o experimento controle, contudo menos evidente para o solo argiloso. O solo argiloso em $x= 39\text{cm}$ apresenta um resultado próximo ao teste controle. As duas primeiras medidas de TPH antes do dia 8 são indistinguíveis do experimento controle. A partir da medida no dia 40 começou a ser observada a diferença

No dia 60, a diferença ficou mais clara. No experimento controle, para o solo arenoso, o TPH diminuiu para 5200 mg/kg, o que corresponde a uma razão de remoção de 25%, e para o solo argiloso o TPH foi 5550 mg/kg, o que significa uma razão de remoção de 15%. Com o reator de SBE, o solo arenoso removeu 41% e 35% de TPH em $x= 5\text{cm}$ e $x= 39\text{cm}$, respectivamente, o que é 64% e 40% que a biodegradação natural. Como esperado, mesmo com o reator SBE, a razão de remoção de TPH do solo argiloso não é tão boa quanto do solo arenoso. No dia 60, tinha apenas 23% e 17% de TPH removido nas duas distâncias, o que é

levemente maior que o resultado do controle 15%, apenas 53% e 13% aumentou em relação ao experimento controle. No final do experimento, o solo arenosos apresentou valores de TPH de 4100mg/kg e 4210 mg/kg no $x= 5\text{cm}$ e no $x= 39\text{cm}$, correspondendo a 41% e 39% de razão de remoção comparado ao TPH inicial. Para o controle, a razão de remoção foi de 34%. O solo argiloso apresentou 4061mg/kg em $x= 5\text{cm}$ e 4861mg/kg aos 39cm, correspondendo a 35% e 25% de razão de remoção. Quanto ao teste controle, apenas 22% de TPH foi removido. Em ambos os testes, foi observado que a biodegradação natural das microrganismos indígenas realiza um papel importante durante a remoção de TPH. Portanto, a mudança de resistividade durante o experimento reflete contribuições do SBE e da biodegradação natural.

Medidas de condutividade da coluna de solo. A medida de condutividade a 1Hz com diferentes salinidade é mostrada na Figura 3a. O dado medido foi ajustado com relação a eq 1. Com esse ajuste, a formação de fatores obtidos foi 4,4 e 2,9 para solo arenoso e argiloso, respectivamente. O solo argiloso apresenta maior superfície de condutividade $\sigma_s = 0,051\text{ S/m}$ e o solo arenoso possui uma superfície de condutividade relativamente menor $\sigma_s = 0,022\text{ S/m}$. Tanto a condutividade de fluido como a superfície de condutividade afetam os valores de condutividade, uma maior

superfície de condutividade corresponde a maior conteúdo de argila e também indica uma menor influência da mudança de condutividade da água no poro, o que torna a variação de condutividade menos evidente quando o diesel é removido do solo.

Na Figura 3b, ambos os solos arenoso e argiloso tem um declínio na tendência de condutividade com um aumento do conteúdo de TPH como indicado na Figura 3b. Entretanto, o solo argiloso mostra um menor declínio na tendência com apenas 5% de queda em 32g/kg TPH devido a maior superfície de condutividade. Condutividade do solo arenoso cai em 6% até 7,2g/kg de TPH, e 22% de queda quando o TPH alcança 32g/kg.

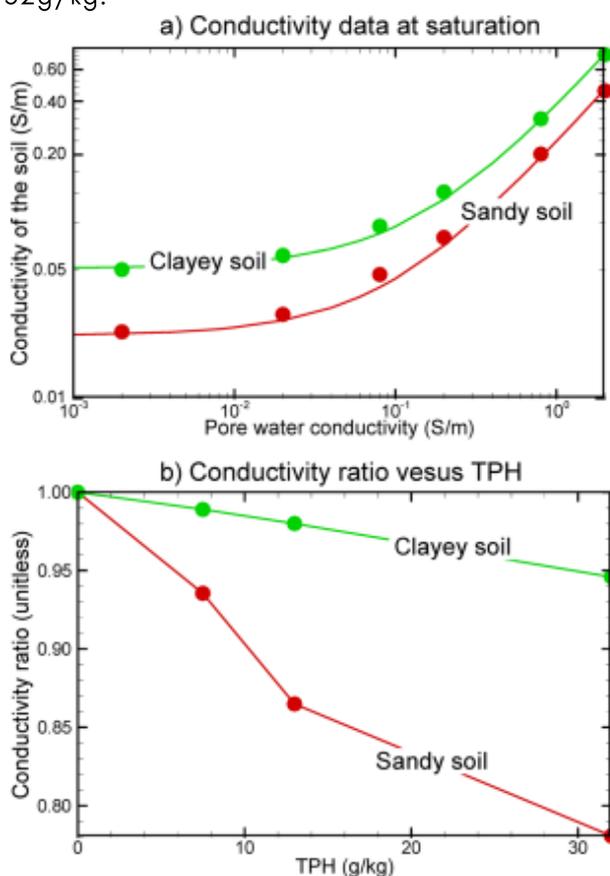


Figura 3 - Medidas petrofísicas. (a) Os pontos sólidos mostram o condutividade elétrica a 1 Hz com diferentes salinidades para areia e solos argilosos. Os dados foram ajustados por uma equação de condutividade linear dada pela eq 1 do texto principal. O ajuste dos dados com esta equação é materializado pelas linhas sólidas. Solo argiloso tem uma superfície maior condutividade ($\sigma_s = 0,051 \text{ S m}^{-1}$) do que solo arenoso ($\sigma_s = 0,022 \text{ S m}^{-1}$) UMA a maior condutividade da superfície diminuirá a influência do fluido de poro condutividade criada pela remoção de contaminantes de diesel neste experimento. (b) A razão de condutividade elétrica σ / σ_0 diminui com o aumento TPH. σ_0 denota a condutividade do solo sem diesel adicionado no solo amostra. O solo arenoso tem uma taxa de diminuição maior do que o solo argiloso devido a um menor condutividade de superfície conforme indicado no painel a.

Tomogramas de razão de condutividade.

A Figura 4 é o tomograma da razão de condutividade para ambos os tanques onde o subtítulo mostra o ensaio no dia posterior ao início do experimento (12 como referência). Para a análise de variação de condutividade do solo, excluimos a região do reator marcada pelos retângulos tracejados em preto, e a variação de condutividade do reator vai ser avaliada separadamente.

Como não temos um tanque paralelo ao experimento para monitorar a mudança de condutividade com a biodegradação natural do diesel, a variação de condutividade elétrica representa a contribuição de ambas a biodegradação natural e melhorada com reator SEB.

Comparado ao resultado de solo argiloso na Figura 4b, ocorre uma distinta variação de tendência para o solo arenoso saturado (Figura 4a), o que indica a remoção de TPH dos tanques. Na Figura 4a, na região próxima a superfície, observamos uma continua queda na condutividade indicada pela cor azul. Existem duas razões para essa queda. Existe um efeito de fluatibilidade dos contaminantes de diesel. Diesel possui uma densidade de 0,832kg/L e portanto tem uma tendência de se mover para cima da fase aquosa no poro. Poucas semanas após o início do experimento, houve a visualização de existência de pontos de diesel na superfície do tanque com solo arenoso. Outra razão é devido a adição de água deionizada na superfície para manter a saturação do solo. Apesar de o tanque ser coberto com filme plástico para minimizar a evaporação, o tanque não é completamente selado e água ainda é perdida pela superfície sobre o clima seco do Colorado. A água deionizada adicionada possui condutividade de apenas 10-4 S/m e portanto, essa pequena condutividade da água nos poros reduz a condutividade do solo arenoso.

Acredita-se que a água deionizada é a principal razão da diminuição da condutividade na camada superior do solo.

Dos tomogramas na região abaixo da superfície, ocorre um aumento da condutividade elétrica inicialmente, o que é seguido por uma tendência de diminuição.

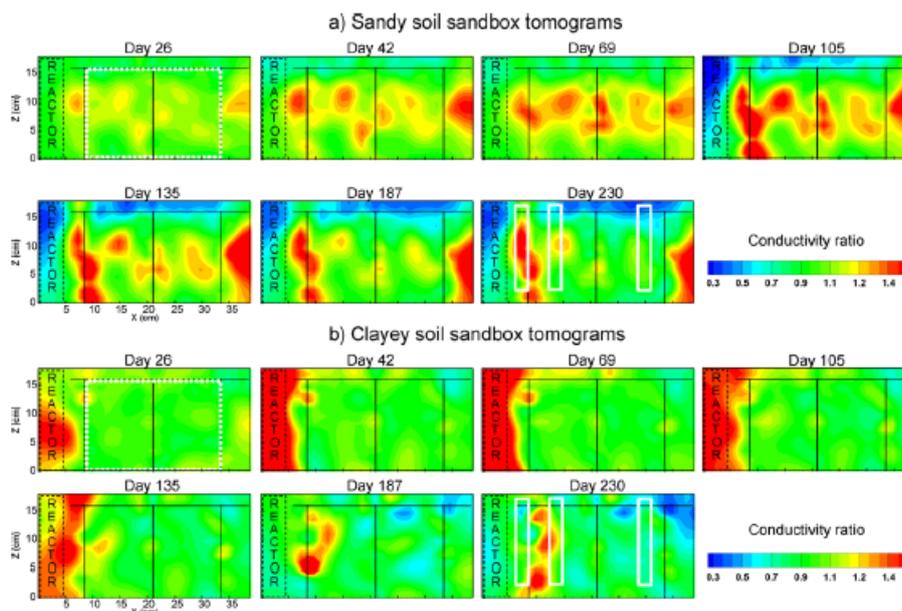


Figura 4 - Tomogramas de razão de condutividade elétrica em relação ao primeiro tomograma de condutividade elétrica feito no dia 12. (a) Solo arenoso. (b) Solo argiloso. A cor azul ($<1,0$) no topo do solo arenoso indica o efeito do reabastecimento de água DI, e a cor vermelha ($>1,0$) indica a remoção de diesel contaminantes. O título de cada subfigura denota o dia de medição após o início do experimento. O retângulo tracejado (no lado esquerdo) indica a localização do reator. Os retângulos tracejados em branco na primeira figura mostram a área usada para determinar a média elétrica condutividade usada na Figura 5a e b. Os retângulos sólidos (último gráfico) são três locais de amostra de solo A, B e C no final do teste. O preto sólido as linhas são os locais da superfície e do eletrodo do poço mostrado na Figura 1.

Entretanto, essa variação não é distribuída uniformemente dentro do tanque. Isso é potencialmente da distribuição desigual dos contaminantes de diesel dentro do tanque. Em algumas regiões, ocorre um aumento da condutividade em 30% (Figura 4a dia 69) mesmo com apenas 3g/kg de TPH removido, de aproximadamente 7g/kg a 4g/kg (Segunda e quarta medida de TPH na Figura 2a). Essa é uma variação muito maior do que as medidas de condutividade mostram na Figura 3b. Pode haver pontos de maior concentração de diesel no tanque, e a acumulação de ácidos orgânicos e bicarbonato da degradação também contribuem para o aumento da condutividade o que não é considerado na medida de coluna de solo. Como discutido por Allen et al. (2007), um aumento na cultura de micróbios degradadores de hidrocarbonetos é comumente observado em locais contaminados por petróleo. A presença de certo filo de bactéria corresponde ao aumento da condutividade. A atividade microbiana aumenta pelo SBE e a biodegradação natural pode alterar a sub-

superfície eletrolítica e propriedades da interface do meio poroso. Essa alternância pode influenciar a condutividade elétrica. Para o solo argiloso, houve menos variações nos tomogramas de razões de condutividade (Figura 4b). Também foram observados pontos de diesel na superfície do tanque após algumas semanas de operação. Entretanto, a diminuição da tendência próximo a superfície não é tão clara quanto no tanque como solo arenoso. A água deionizada move mais devagar no solo argiloso devido a baixa condutividade hidráulica, e portanto não acarreta a uma diminuição significativa da condutividade como indicado no solo arenoso (observar Figura 4a). Ocorre um aumento significativo da condutividade próximo ao reator em 10cm em um estágio tardio do experimento. Isso acontece porque após a mudança para o resistor menor (dia 162) com aceleração concomitante do reator. Esse aumento é relacionado ao maior consumo de contaminantes de diesel próximo ao reator.

Condutividade média e variação de TPH.

Devido a continua atividade de amostragem de solo em $x=5\text{cm}$ e 39cm (Figura 1), o solo foi altamente perturbado nessas regiões. Portanto, podemos apenas considerar a área dentro do retângulo tracejado em branco para calcular a variação de condutividade média (A área é indicada pelo retângulo tracejado branco na Figura 4a e Figura 4b do dia 26). Linhas sólidas na Figura 5a e 5b mostram a variação de razão de condutividade média para ambos os tanques para a área dentro dos retângulos tracejados brancos indicados na Figura 4 (O último teste no dia 230 não foi usado em razão de sua medida ser além da última medida de THP). Figura 5a e 5b também possuem a razão média de TPH das duas distâncias ($x= 5\text{cm}$ e 39cm) em linhas tracejadas. O TPH médio é calculado com base na média das medidas de TPH dos dois locais do tanque para representar a variação média de TPH dentro do tanque. Como o ensaio de condutividade e as medidas de TPH não são realizadas ao mesmo tempo, o valor médio de TPH no tempo do ensaio de condutividade é interpolado linearmente. Todas as razões de TPH são referentes ao valor interpolado no 12º dia de experimento quando foi realizado o primeiro ensaio de condutividade.

Como mostrado pela condutividade média, a condutividade inicialmente aumenta e depois diminui. A razão média de condutividade aumenta em torno de 12% no quarto ensaio dia 69 após o início do experimento e então diminui vagarosamente em 5% no sétimo ensaio (187 dias) comparado ao estado inicial.

Para a média de resultado da razão de TPH do solo arenoso, os primeiros três resultados apresentam uma significativa queda na Figura 5a, seguida por uma tendência de variação de aumento e declínio. A tendência de declínio do TPH nos três primeiros pontos corresponde ao aumento da condutividade média. Isso é consistente com a conclusão de pesquisas previas que um menor TPH irá refletir um maior valor de condutividade.

Após os três primeiros pontos de dados na Figura 5a, essa relação não pode ser mais ser encontra porque existe outra razão responsá-

vel pela observação da variação média da condutividade elétrica. De fato, existem dois processos ocorrendo ao mesmo tempo provocando mudança na condutividade elétrica durante a remediação: (I) a remoção dos contaminantes de diesel e (II) o vazamento de fluido do poro no reator. Diesel não condutivo é removido do solo por biodegradação e acarreta a acumulação de ácidos orgânicos e bicarbonato. Isso leva ao aumento da condutividade no solo. Ao mesmo tempo, devido ao reator ser envolvido em torno do tubo de PVC perfurado para maximizar o contato do catodo com o ar, fluido do poro vaza pelo tubo perfurado e cria um gradiente hidráulico em direção ao reator que é melhorado pela adição de água deionizada na superfície. Como resultado dessa carga hidráulica, a remoção de fluido e da perda de objetos no fluido dentro do tanque provoca a diminuição de condutividade do solo no tanque. A saturação mantida pela adição de água deionizada de baixa condutividade na superfície dos tanques não pode compensar a diminuição de condutividade.

O efeito do vazamento é a melhora do fluxo de água e do transporte de soluto no experimento. Comparado a um transporte de soluto sob um gradiente hidráulico natural, como por exemplo, 1%, o que move poucos metros por ano, o reator SBE cria uma situação favorável para o transporte de contaminantes. No tanque do experimento, foi considerado que o nível de água era próximo ao superfície do solo, e que onde começa o tubo perfurado de PVC o nível é 5cm abaixo do solo. O gradiente hidráulico médio pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$\frac{35-4,5}{5} \approx 14\%$$

A adição de água pode ser tratada como infiltração como ocorre naturalmente com a precipitação, e o exemplo do solo arenoso mostra que esse processo ajuda o movimento do soluto, portanto, ajudando no processo de remediação.

Para o solo arenoso, a tendência de condutividade confirma que a maior razão de

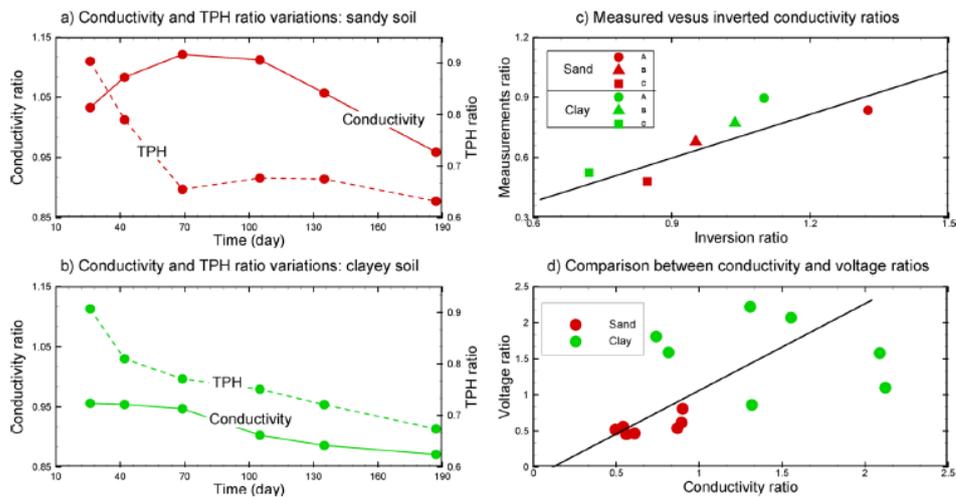


Figura 5 - Condutividade elétrica e variação de razão de TPH para (a) solo arenoso e (b) solo argiloso. A razão de condutividade elétrica é calculada pela área em retângulo tracejado branco nos tomogramas na Figura 4 (exceto no ensaio do dia 230), e a razão de variação de TPH é a média do TPH amostrado nos locais em $x = 5\text{cm}$ e $x = 39\text{cm}$. Para o solo arenoso, um aumento na condutividade corresponde a diminuição de TPH para os dados dos três primeiros pontos. c) Comparação da medida da razão de condutividade das amostras de solo arenoso e solo argiloso (medidos pelo tanque) versus a razão de inversão de condutividade nos mesmos locais A, B e C dos tomogramas invertidos. Essa relação linear mostra que as medidas de laboratório são consistentes com os dados dos tomogramas. D) Relação linear entre a razão de condutividade invertida e a medida de razão de voltagem para solo arenoso (pontos vermelhos) e solo argiloso (pontos verdes) pelo reator de SBE indicado pelos retângulos tracejados em preto na Figura 4.

remoção de TPH prevalece mais que o vazamento de fluido no início do período. Em um período posterior, a razão de remoção de TPH diminui como mostrado pela variação de TPH. A diminuição da condutividade devido ao vazamento é dominante, o que causa a diminuição da condutividade obtida no ensaio. A menor superfície de contato para o solo arenoso ($\sigma_s = 0,022 \text{ S/m}$) suporta a influência da água no poro nesse estudo. Na Figura 5b para o solo argiloso, foi observado apenas o declínio da tendência da condutividade, alcançando 10% no 187º dia, levando a referência em consideração. A razão de TPH continuou diminuindo durante o experimento. A remoção de diesel não leva a um aumento de condutividade no início do experimento comparado ao resultado na Figura 5a para o solo arenoso. Como confirmado pelo resultado da coluna de solo, isso acontece devido a maior superfície de condutividade do solo argiloso ($\sigma_s = 0,051 \text{ S/m}$). O vazamento do fluido se torna mais importante para a variação de condutividade durante todo o experimento. A remoção de TPH diminui a condutividade do fluido, e portanto, o que é mostrado na Figura 4a é uma diminuição constante.

Variações de condutividade lateral. Ao final do experimento, foram retiradas amostras de solo de três locais A, B e C (Figura 1) para avaliar a variação no espaço conforme mais distante do reator. A razão de condutividade do último ensaio nesses três locais foi extraída dos tomogramas invertidos. As áreas extraídas são indicadas pelos três retângulos sólidos brancos na Figura 4. A Figura 5c é uma comparação entre as razões de condutividade medidas e valores invertidos de oito ensaios dos dois tanques. Na Figura 5c, em ambas as amostras de solo, há uma tendência de declínio ao se afastar do reator nos locais de A para C, indicando a perda de íons durante o processo de vazamento ao longo da duração do experimento e isso influencia no período tardio do experimento. Isso é suportado pelos tomogramas do solo arenoso Figura 4a. O aumento da condutividade próximo ao reator (indicado pela cor vermelha) é sempre maior que o valor mais longe, especialmente no último tomograma no dia 230. A trama cruzada entre os resultados da inversão e os valores de condutividade mostram uma relação linear, o que significa que o ensaio geofísico pode capturar a variação lateral da condutividade. Essa relação não é de 1:1.

O primeiro motivo é devido a distribuição desigual inicialmente de diesel, e foi obtido apenas um valor inicial de cada tanque. Considerando a razão e essa condição inicial para todas as amostras, é gerada uma incerteza. Para os resultados numéricos da inversão, a razão é relacionada com a condutividade nos locais A, B e C do primeiro ensaio no dia 12, respectivamente. Outro motivo é o jeito como foi medida a condutividade elétrica, inicialmente secando o solo e depois com misturando água deionizada em razão 1:5. Com esse método, a medida de condutividade das amostras de solo pode ser usada relativamente comparada a medidas de resistividade realizadas in situ.

Relação entre condutividade elétrica e voltagem do reator SBE. Não existe solo na região dos reatores com o tubo oco. Portanto, a variação de condutividade do reator reflete a atividade do anodo do reator em vez da condutividade da massa de solo. A variação de condutividade de ambos os reatores foi analisada separadamente. Durante o experimento, foi observada a variação de condutividade dos reatores dos resultados de inversão. Como mostrado na Figura 4a, a razão de condutividade do reator foi perto de 1.0 inicialmente, e então ficou menor que 0,4 no sexto ensaio no dia 135 em cor azul. A razão de condutividade manteve essa ordem. Observando a curva de voltagem na Figura 2a, o primeiro ensaio, do dia 12 foi realizado quando a magnitude alcançou seu pico, seguido por um gradual declínio. A razão de condutividade e a razão de voltagem dos reatores estão plotadas na Figura 5d. Para a razão de voltagem, as magnitudes 316mV e 83mV para solo arenoso e argiloso do dia 12 foram utilizadas como referência.

Como indicado pela Figura 5d, é seguido um modelo de tendência linear com um padrão disperso para o solo argiloso. A tendência linear suporta que a maior voltagem corresponde a um reator mais condutivo nos tomogramas invertidos. O mecanismo por trás dessa tendência linear pode ser relacionado com atividade da BEA.

Quando a voltagem do reator de SBE é alta, significa que a atividade de BEA é alta. Mais contaminantes de diesel são consumidos, e portanto, mais elétrons são produzidos. Levando a criação de anomalias condutivas durante o ensaio de resistividade.

Foi demonstrada uma técnica de monitoramento não invasiva para a remoção de diesel em um tanque utilizando o método da eletrorresistividade. Um aumento da condutividade corresponde a uma diminuição da concentração de TPH no solo arenoso no período inicial do experimento, entretanto o mesmo não pode ser afirmado para o solo argiloso devido à alta superfície de condutividade, e esses resultados mais adiante foram suportados pelas medidas de coluna de solo com diferentes concentrações de THP. O vazamento do fluido através do reator de SBE perfurado acarreta em diminuição da condutividade temporária indicado pelo tomograma de inversão de condutividade e espacialmente suportada pelas amostras de solo ao fim do experimento, e o vazamento de fluido também age como força motriz para a movimento dos contaminantes de diesel em direção ao reator. Além do tradicional monitoramento de voltagem do reator de SBE, a atividade do reator de SBE é caracterizada pela magnitude da inversão de condutividade nos tomogramas. Um reator de SBE mais ativo corresponde a um aumento de condutividade no tomograma de condutividade. Apesar de os resultados do experimento do tanque terem escala laboratorial, os resultados encorajam o uso de métodos geofísicos durante a monitoração da remediação da contaminação. Ainda são necessários experimentos em escala de campo para avaliar a técnica sobre ambientes mais complicados para entender melhor a influência dos parâmetros da condutividade elétrica. ■

Informações do autor

Autor correspondente

Telefone: 33+(0)479758715,
E-mail: andre.revil@uni-smb.fr.

Nota

O autor declara não competir por interesse financeiro

Agradecimentos

Esse trabalho foi patrocinado pelo Escritório da Ciência (BER), Departamento de Energia Estadunidense (Prêmio DE-SC0007118) e a Companhia de Tecnologia Elétrica Chevron (concessão CW852844 e K26625). Também queremos agradecer a área de superfície específica medida pelo laboratório do Dr. Ryan Richards na Escola de Minas do Colorado.

Bibliografia

- (1) Smith, S. E.; Hult, M. F. Hydrogeologic data collected from a crude-oil spill site near Bemidji, Minnesota, 1983-91.93-496,1993, <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr93496>.
- (2) U.S. Environmental Protection Agency, Leaking Underground Storage Tank (LUST) Trust Fund, 2014, <http://www.epa.gov/oust/ltffacts.htm>.
- (3) Cozzarelli, I. M.; Bekins, B. A.; Baedeker, M. J.; Aiken, G. R.; Eganhouse, R. P.; Tuccillo, M.E. Progression of natural attenuation processes at a crude-oil spill site: I. Geochemical evolution of the plume. *J. Contam. Hydrol.* 2001, 53 (3-4), 369-385.
- (4) Bekins, B. A.; Cozzarelli, I. M.; Godsy, E. M.; Warren, E.; Essaid, H. I.; Tuccillo, M. E. Progression of natural attenuation processes at a crude oil spill site: II. Controls on spatial distribution of microbial populations. *J. Contam. Hydrol.* 2001, 53 (3-4), 387-406.
- (5) Riser-Roberts, E. *Remediation of Petroleum Contaminated Soils: Biological, Physical, And Chemical Processes*; CRC press: Lewis Publishers: NY, 1998.
- (6) Wang, H.; Luo, H.; Fallgren, P. H.; Jin, S.; Ren, Z. J. Bioelectrochemical system platform for sustainable environmental remediation and energy generation. *Biotechnol. Adv.* 2015, 33 (3-4), 317-334.
- (7) Morris, J. M.; Jin, S.; Crimi, B.; Pruden, A. Microbial fuel cell in enhancing anaerobic biodegradation of diesel. *Chem. Eng. J.* 2009, 146 (2), 161-167.
- (8) Zhang, T.; Gannon, S. M.; Nevin, K. P.; Franks, A. E.; Lovley, D. R. Stimulating the anaerobic degradation of aromatic hydrocarbons in contaminated sediments by providing an electrode as the electron acceptor. *Environ. Microbiol.* 2010, 12 (4), 1011-1020.
- (9) Wang, X.; Cai, Z.; Zhou, Q.; Zhang, Z.; Chen, C. Bioelectrochemical stimulation of petroleum hydrocarbon degradation in saline soil using U-tube microbial fuel cells. *Biotechnol. Bioeng.* 2012, 109 (2), 426-433.
- (10) Morris, J. M.; Jin, S. Feasibility of using microbial fuel cell technology for bioremediation of hydrocarbons in groundwater. *J. Environ. Sci. Health, Part A: Toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng.* 2008, 43 (1), 18-23.
- (11) Rakoczy, J.; Feisthauer, S.; Wasmund, K.; Bombach, P.; Neu, T. R.; Vogt, C.; Richnow, H. H. Benzene and sulfide removal from groundwater treated in a microbial fuel cell. *Biotechnol. Bioeng.* 2013, 110 (12), 3104-3113.
- (12) Lu, L.; Yazdi, H.; Jin, S.; Zuo, Y.; Fallgren, P. H.; Ren, Z. J. Enhanced bioremediation of hydrocarbon-contaminated soil using pilot-scale bioelectrochemical systems. *J. Hazard. Mater.* 2014, 274 (0), 8-15.
- (13) Lu, L.; Huggins, T.; Jin, S.; Zuo, Y.; Ren, Z. J. Microbial Metabolism and Community Structure in Response to Bioelectrochemically Enhanced Remediation of Petroleum Hydrocarbon Contaminated Soil. *Environ. Sci. Technol.* 2014, 48 (7), 4021-4029.
- (14) Wang, H.; Ren, Z. J. A comprehensive review of microbial electrochemical systems as a platform technology. *Biotechnol. Adv.* 2013, 31 (8), 1796-1807.

- (15) Loke, M. H.; Chambers, J. E.; Rucker, D. F.; Kuras, O.; Wilkinson, P. B. Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method. *J. Appl. Geophys.* 2013, 95, 135-156.
- (16) Revil, A.; Cathles, L. M.; Losh, S.; Nunn, J. A. Electrical conductivity in shaly sands with geophysical applications. *J. Geophys. Res. B: Solid Earth* 1998, 103 (B10), 23925-23936.
- (17) Daily, W.; Ramirez, A. Electrical resistance tomography during in-situ trichloroethylene remediation at the Savannah River Site. *J. Appl. Geophys.* 1995, 33 (4), 239-249.
- (18) Slater, L.; Binley, A. M.; Daily, W.; Johnson, R. Cross-hole electrical imaging of a controlled saline tracer injection. *J. Appl. Geophys.* 2000, 44 (2-3), 85-102.
- (19) Kemna, A.; Kulesa, B.; Vereecken, H. Imaging and characterisation of subsurface solute transport using electrical resistivity tomography (ERT) and equivalent transport models. *J. Hydrol.* 2002, 267 (3-4), 125-146.
- (20) Singha, K.; Gorelick, S. M. Saline tracer visualized with threedimensional electrical resistivity tomography: Field-scale spatial moment analysis. *Water Resour. Res.* 2005, 41, W05023.
- (21) Cassiani, G.; Bruno, V.; Villa, A.; Fusi, N.; Binley, A. M. A saline trace test monitored via time-lapse surface electrical resistivity tomography. *J. Appl. Geophys.* 2006, 59 (3), 244-259.
- (22) Revil, A.; Skold, M.; Karaoulis, M.; Schmutz, M.; Hubbard, S. S.; Mehlhorn, T. L.; Watson, D. B. Hydrogeophysical investigations of the former S-3 ponds contaminant plumes, Oak Ridge Integrated Field Research Challenge site, Tennessee. *Geophysics* 2013, 78 (4), EN29- EN41.
- (23) Sauck, W. A. A model for the resistivity structure of LNAPL plumes and their environs in sandy sediments. *J. Appl. Geophys.* 2000, 44 (2-3), 151-165.
- (24) Atekwana, E.; Werkema, D.; Duris, J.; Rossbach, S.; Atekwana, E.; Sauck, W.; Cassidy, D.; Means, J.; Legall, F. In-situ apparent conductivity measurements and microbial population distribution at a hydrocarbon-contaminated site. *Geophysics* 2004, 69 (1), 56-63.
- (25) Atekwana, E. A.; Atekwana, E.; Legall, F. D.; Krishnamurthy, R. V. Biodegradation and mineral weathering controls on bulk electrical conductivity in a shallow hydrocarbon contaminated aquifer. *J. Contam. Hydrol.* 2005, 80 (3-4), 149-167.
- (26) Schmutz, M.; Revil, A.; Vaudelet, P.; Batzle, M.; Viñ ao, P. F.; Werkema, D. D. Influence of oil saturation upon spectral induced polarization of oil-bearing sands. *Geophys. J. Int.* 2010, 183 (1), 211- 224.
- (27) Revil, A.; Schmutz, M.; Batzle, M. Influence of oil wettability upon spectral induced polarization of oil-bearing sands. *Geophysics* 2011, 76 (5), A31-A36.
- (28) Abdel Aal, G. Z.; Atekwana, E. A. Spectral induced polarization (SIP) response of biodegraded oil in porous media. *Geophys. J. Int.* 2014, 196 (2), 804-817.
- (29) Schwartz, N.; Huisman, J. A.; Furman, A. The effect of NAPL on the electrical properties of unsaturated porous media. *Geophys. J. Int.* 2012, 188 (3), 1007-1011.
- (30) Revil, A. Spectral induced polarization of shaly sands: Influence of the electrical double layer. *Water Resour. Res.* 2012, 48 (2), W02517.
- (31) Hort, R. D.; Revil, A.; Munakata-Marr, J.; Mao, D. Evaluating the potential for quantitative monitoring of in situ chemical oxidation of aqueous-phase TCE using in-phase and quadrature electrical conductivity. *Water Resour. Res.* 2015, 51 (7), 5239-5259.
- (32) Yazdi, H.; Alzate-Gaviria, L.; Ren, Z. J. Pluggable microbial fuel cell stacks for septic wastewater treatment and electricity production. *Bioresour. Technol.* 2015, 180, 258-263.
- (33) Haeger, A.; Forrestal, C.; Xu, P.; Ren, Z. J. High performance spiral wound microbial fuel cell with hydraulic characterization. *Bioresour. Technol.* 2014, 174, 287-293.
- (34) Zhang, F.; Cheng, S.; Pant, D.; Bogaert, G. V.; Logan, B. E. Power generation using an activated carbon and metal mesh cathode in a microbial fuel cell. *Electrochem. Commun.* 2009, 11 (11), 2177- 2179.
- (35) Menicucci, J.; Beyenal, H.; Marsili, E.; Veluchamy; Demir, G.; Lewandowski, Z. Procedure for Determining Maximum Sustainable Power Generated by Microbial Fuel Cells. *Environ. Sci. Technol.* 2006, 40 (3), 1062-1068.

- (36) U.S. Environmental Protection Agency. Non-Halogenated Organics using GC/FID, Method 8015D. In June 2003.
- (37) Kettler, T.; Doran, J. W.; Gilbert, T. Simplified method for soil particle-size determination to accompany soil-quality analyses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2001, 65 (3), 849-852.
- (38) Zimmermann, E.; Kemna, A.; Berwix, J.; Glaas, W.; Mü nch, H. M.; Huisman, J. A. A high-accuracy impedance spectrometer for measuring sediments with low polarizability. *Meas. Sci. Technol.* 2008, 19 (10), 105603.
- (39) Waxman, M. H.; Smits, L. J. M. Electrical Conductivities in Oil Bearing Shaly Sands. *SPEJ, Soc. Pet. Eng. J.* 1968, 8 (2), 107-122.
- (40) Karaoulis, M. C.; Kim, J. H.; Tsourlos, P. I. 4D active time constrained resistivity inversion. *J. Appl. Geophys.* 2011, 73 (1), 25-34.
- (41) Mao, D.; Revil, A.; Hort, R. D.; Munakata-Marr, J.; Atekwana, E. A.; Kulesa, B. Resistivity and self-potential tomography applied to groundwater remediation and contaminant plumes: Sandbox and field experiments. *J. Hydrol.* 2015, 530, 1-14.
- (42) Malusis, M. A.; Shackelford, C. D.; Olsen, H. W. Flow and transport through clay membrane barriers. *Eng. Geol.* 2003, 70 (3-4), 235-248.
- (43) Allen, J. P.; Atekwana, E. A.; Atekwana, E. A.; Duris, J. W.; Werkema, D. D.; Rossbach, S. The Microbial Community Structure in Petroleum-Contaminated Sediments Corresponds to Geophysical Signatures. *Appl. Environ. Microb.* 2007, 73 (9), 2860-2870.
- (44) Williams, K. H.; Ntarlagiannis, D.; Slater, L. D.; Dohnalkova, A.; Hubbard, S. S.; Banfield, J. F. Geophysical Imaging of Stimulated Microbial Biomineralization. *Environ. Sci. Technol.* 2005, 39 (19), 7592-7600.
- (45) Panday, S.; Wu, Y. S.; Huyakorn, P. S.; Springer, E. P. A three-dimensional multiphase flow model for assessing NAPL contamination in porous and fractured media, 2. Porous medium simulation examples. *J. Contam. Hydrol.* 1994, 16 (2), 131-156.
- (46) Li, X.; Wang, X.; Ren, Z. J.; Zhang, Y.; Li, N.; Zhou, Q. Sand amendment enhances bioelectrochemical remediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil. *Chemosphere* 2015, 141, 62-70.

”

**TUDO DEPENDE DA NATUREZA,
SEM EXCEÇÃO, DO PETRÓLEO A
INTERNET, DA VESTIMENTA
AOS ALIMENTOS. SOMOS
APENAS CONSUMIDORES E NÃO
ESTAMOS NEM AI PARA ELA.**

**QUANDO FALTAR O
NECESSÁRIO PARA CONSUMO
O QUE SERÁ DE NÓS. É HORA
DE REPENSAR NOSSOS
CONCEITOS.**

“

DAMIÃO MAXIMINO



UERJ Geophysical Society
Student Chapter



UERJ GEOPHYSICAL SOCIETY MAGAZINE
6ª EDIÇÃO
ABR DE 2020 • SET DE 2020